

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra mechanické technologie

Vliv přísad Elektrolytu na vlastnosti galvanického povlaku

Influence of Additives Electrolyte on Changes the Characteristics of Galvanic coating

Student:

Jan Polach

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Xenie Ševčíková, Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Polach**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Vliv přísad elektrolytu na změny vlastností galvanického povlaku**  
**Influence of Additives Electrolyte on Changes the Characteristics of Galvanic Coating**

Zásady pro vypracování:

1. Hodnocení současného stavu galvanického vylučování povlaků kovů.
2. Specifikace galvanických procesů, typologie a charakteristika lázní, jejich složek a přísad v návaznosti na výsledné mechanické vlastnosti povlaků.
3. Technologický postup aplikace voleného povlaku, příprava experimentální činnosti, metodika.
4. Vliv změny technologických podmínek vylučování související se změnou poměru složek elektrolytu a přísad na fyzikálně - mechanické vlastnosti povlaku.
5. Vyhodnocení experimentu, závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


CYRUS, Z., CHOCHOLOUŠEK, J., KRISTOFORY, F. a VÍTEK, J. *Kurz galvanizérů 1*. Učební texty a návody do cvičení, 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996, 144 s.  
KRISTOFORY, F., SZELAG, P., TAITLOVÁ, J. a ŠULC, I. *Kurz galvanizérů 2*. Učební texty a návody do cvičení, 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996, 108 s.  
STRAUCH, A. *Galvanotechnisches Fachwissen*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1987, 511s.  
PRŮŠEK, J. a kol. *Hodnocení jakosti a účinnosti protikoročních ochranných povlaků strojírenských výrobků*. Praha: SNTL, 1985, 288 s.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Xenie Ševčíková, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012  
Datum odevzdání: 20.05.2013



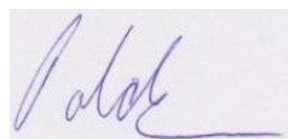
  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2013

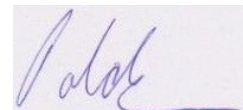


.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20.5.2013 .....



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Polach

Adresa trvalého pobytu autora práce:

U Vrby 442,  
Slušovice, 763 15

**Poděkování:**

Rád bych zde poděkoval své vedoucí bakalářské práce Ing. Xénii Ševčíkové, Ph.D. za její cenné rady a čas, který mi věnovala při řešení dané problematiky dále panu Ing. Pavlu Nejedlymu za pomoc a vstřícnost při získání potřebných informací a podkladů.

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

POLACH, J. Vliv přísad elektrolytu na změny vlastností galvanického povlaku: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2013, Vedoucí práce: ŠEVČÍKOVÁ, X.

Bakalářská práce se zaměřuje především na změnu vlastností galvanických povlaků při změně přísad elektrolytu a proudových hustot. Teoretická část se zabývá současným stavem galvanického vylučování jeho typologie a charakteristika lázní. Experimentální část se věnuje změnám poměru složek elektrolytu a přísad na fyzikálně – mechanické vlastnosti povlaku.

## ANNOTATION OF THESIS

POLACH, J. Influence of Additives Electrolyte on Changes the Characteristics of Galvanic coating: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2013 Thesis head: ŠEVČÍKOVÁ, X.

This thesis focuses on the changing properties of galvanic coatings additives to change the electrolyte and current densities. The theoretical part deals with the elimination of galvanic current state of the typology and characteristics of the bath. The experimental part deals with changes in the ratio of electrolyte components and additives on the physico - mechanical properties of the coating.

## Obsah

1.1.	Galvanické povlakování.....	11
1.2.	Druhy Galvanického povlakování.....	11
1.2.1.	Galvanické mědění .....	11
1.2.2.	Galvanické mosazení .....	11
1.2.3.	Galvanické zinkování .....	11
1.2.4.	Galvanické niklování.....	12
1.3.	Faradayovy zákony .....	12
1.4.	Schématický obrázek elektrolýzy .....	14
2.1.1.	Požadavky na vylučování povlaků .....	15
2.1.2.	Pórovitost .....	15
2.1.3.	Celkový vzhled povlaku .....	16
2.1.4.	Adheze.....	16
2.1.5.	Tloušťka povlaku .....	16
2.1.6.	Korozivzdornost .....	17
2.1.7.	Charakteristika galvanických lázní a povlaků: .....	17
2.2.	Druhy lázní pro galvanické vylučování Niklu. ....	18
3.1.	Technologické postupy galvanického pokovení.....	20
3.1.	Soubor provozně významných parametrů při galvanickém pokovení.....	20
3.2.	Vzorový technologický postup při galvanickém pokovení .....	21
4.1.1.	Charakteristika a použití ph-metru .....	23
4.1.2.	Charakteristika a použití IS-metru.....	24
4.2.	Postup vylučování Ni .....	25
4.3.	Měření napětí.....	26
4.3.1.	Elektrolyt bez přísad (pH=3,69).....	26
4.3.2.	Elektrolyt s přísadou 20g/l kyseliny borité ( $H_3BO_3$ ) (pH=3,56).....	27
4.3.3.	Elektrolyt s přísadou 40g/l kyseliny borité ( $H_3BO_3$ ) (pH=3,11).....	28
4.4.	Hmotností nárůst po pokovení .....	29
4.5.	Výpočty.....	31

5.1.	Vizuální kontrola povlaku.....	34
5.2.	Mikroskopická dokumentace povrchu zvětšeno 50x.....	35
5.3.	Parametry vylučování, naměřené a vypočítané hodnoty .....	40
6.1.	Závislost prodloužení/zkrácení na čase.....	43
6.2.	Závislost vnitřního napětí na obsah kyseliny borité $\text{H}_3\text{BO}_3$ a na proudové hustotě.....	45
6.3.	Závislost účinnosti na proudové hustotě .....	46



## Seznam použitých zkratk a symbolů

Značka	Popis	Jednotky
T	Čas	[min]
m	Hmotnost povlaku	[g]
$m_1$	Hmotnost pásku před elektrolýzou	[g]
$m_2$	Hmotnost pásku po elektrolýze	[g]
$m_c$	Celková hmotnost povlaku	[g]
$\sigma$	Vnitřní pnutí (makropnutí)	[MPa]
d	Tloušťka pásku	[ $\mu\text{m}$ ]
E	Modul pružnosti	[Mpa]
F	Faradayův náboj	[ $96500\text{C}\cdot\text{mol}^{-1}$ ]
i	Proudová hustota	[ $\text{A}/\text{dm}^2$ ]
I	Proud	[A]
K	Kationt	[-]
M	Molární hmotnost	[ $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ]
$\eta$	Proudový účinek	[%]
$\tau$	Tloušťka povrchu při prodloužení/zkrácení	[ $\mu\text{m}$ ]
$\tau_k$	Doba ukončení experimentu	[min]
$\text{H}_3\text{BO}_3$	Kyselina boritá	
$\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$	Kyselina anidosulfonová	
$A_e$	Elektro-chemický ekvivalent látky	[g/C]
Q	Elektrický Náboj	[C]

# Úvod

Povrchové úpravy jsou nedílnou součástí strojírenské technologie. Při povrchových úpravách vzniká na součásti nový povrch, který slouží hlavně k zlepšení vlastností materiálu. Chrání povrch základního materiálu součásti před mechanickým poškozením a korozí. Povrchové úpravy mají i své estetické významy.

Při galvanování vylučujeme tenké vrstvy kovu např. niklu, mědi, chromu a zinku. Elektrolýza tedy galvanické vylučování probíhá za vysokých teplot lázní. Tato teplota dosahuje v některých případech až 100 °C. Udržování lázní na takových teplotách je ekonomiky náročné. Proto se snažíme teplotu snížit ideálně na pokojovou teplotu, abychom nemuseli udržovat teplotu lázně na vysokých teplotách.

V dnešní době se klade důraz na parametry materiálu. Díky povrchovým úpravám zlepšujeme tvrdost, pevnost a odolnost vůči korozi a opotřebení. Důležitý je i vzhled pokovovaného materiálu.

Niklování patří mezi nejstarší používaným postupem elektrolytického vylučování kovů. Pro svoji velmi dobrou korozní odolnost, dobrou leštitelnost. Tvrdost niklu se pohybuje v rozmezí 350 – 550 HV a jeho pevnost v tahu je 1100 – 1500 MPa.

Bakalářská práce je zaměřena na oblast elektrolytického vylučování niklových povlaků z vodných elektrolytů jeho solí. Koncepce experimentální části je orientována na oblast změny technologických parametrů u komerční lázně, vliv změny u elektrolytu v konkrétním případě, navýšení přídatků pufrující přísady kyseliny borité  $H_3BO_3$ . V návaznosti na rozdílné koncentrace  $H_3BO_3$  a nastavení proudových hustot procesu vylučování budou analyzovány změny vnitřního napětí povlaku během galvanování.

# **1. Hodnocení současného stavu galvanického vylučování povlaků kovů**

## **1.1. Galvanické povlakování**

Galvanotechnika využívá principů elektrolýzy, na jejichž základě lze vyloučit povlaky kovových vrstev na tělesa různorodých materiálů, vlastností a tvarů. Za zásadní vlastnosti vyloučených povlaků lze považovat korozně ochrannou funkci povlaku proti chemické a elektrochemické korozi a dekorativní charakter vyloučené vrstvy. Důraz je kladen hlavně na rovnoměrné vylučování povlaků, tohoto požadavku lze dosáhnout obtížně a to z důvodu nerovnoměrného rozložení elektrického potenciálu.[5]

## **1.2. Druhy Galvanického povlakování**

### **1.2.1. Galvanické mědění**

Povlaky z mědi se používají převážně jako mezivrstva při ochranném, nebo dekorativním pokovování (stříbření, zlacení) dále taky jako ochranná vrstva při cementování ocelí. Pokud je mědění použito jako finální dekorativní vrstva je nutno povlak chránit vhodným nátěrem proti koroznímu působení atmosféry.

### **1.2.2. Galvanické mosazení**

Mosazených povlaků se používá při výrobě galanterních předmětů, dále pro zlepšení přilnavosti pryže k oceli. Většinou se vylučují vrstvy o tloušťce 2 – 5  $\mu\text{m}$ . Výsledný poměr mědi a zinku v povlaku lze ovlivnit složením lázně. Můžeme tak docílit vylučování žlutých, bílých nebo tombakových vrstev. Mosazící lázně jsou výhradně kyanidové.

### **1.2.3. Galvanické zinkování**

Zinkové povlaky anodicky chrání ocelové předměty před korozi. Životnost zinkových povlaků lze ještě zvýšit chromátováním nebo fosfátováním. Pro galvanické zinkování se používá kyanidových nebo bez kyanidových alkalických lázní a kyselých lázní.

#### 1.2.4. Galvanické niklování

Používá se pro vytváření ochranných povlaků na oceli, mědi a jejich slitinách a také na zinku. Bez mezivrstvy se niklové povlaky používají na ochranu chemických zařízení v alkalickém prostředí a také pro zvýšení odolnosti proti opotřebení. S mezivrstvou mědi se aplikují jako ochranné a dekorativní povlaky. Nejčastěji se se niklové povlaky vytváří na ocelích v systému Cu – Ni – Cr, kdy se na povrchu niklu vylučuje tenká vrstva chromu, která vytváří vrstvu charakteru dekorativního nebo funkčního. Tloušťka niklové vrstvy v systému Cu – Ni – Cr je závislá na agresivitě prostředí, kterému bude chráněný výrobek vystaven. Obvykle tato tloušťka bývá 4 – 15 μm při tloušťce chromového povlaku 0,5 μm. V případě, že niklový povlak je finální ochranou, činí tloušťka 8 – 45 μm na oceli a 5 – 15 μm na mědi. Používá se několik druhů elektrolytů. Nejstarší a nejpoužívanější je Wattsova lázeň, jejíž hlavní složkou je síran nikelnatý. Dále se používají chloridové lázně a další. [5]

### 1.3. Faradayovy zákony

Faradayovy zákony vyslovil významný anglický chemik a fyzik Michael Faraday. Faradayovy zákony jsou vyjádřeny jako vztahy mezi elektrickým nábojem prošlým elektrolyzérem a množstvím vyloučeného kovu.[8]

1. Faradayův zákon: Hmotnost látky vyloučené na elektrodě závisí přímo úměrně na elektrickém proudu, procházejícím elektrolytem, a na čase, po který elektrický proud procházel.[8]

$$m = A_e \cdot I \cdot t = A_e \cdot Q \quad (8)$$

m – hmotnost vyloučené látky

$A_e$  – Elektro-chemický ekvivalent látky

I – elektrický proud

t – čas

Q – elektrický náboj

2. Faradayův zákon: Látková množství vyloučená stejným nábojem jsou pro všechny látky chemicky ekvivalentní, neboli elektrochemický ekvivalent  $A$  závisí přímo úměrně na molární hmotnosti látky.[8]

$$A = \frac{M_m}{F \cdot z} \quad (8)$$

$A$  – Elektro-chemický ekvivalent látky

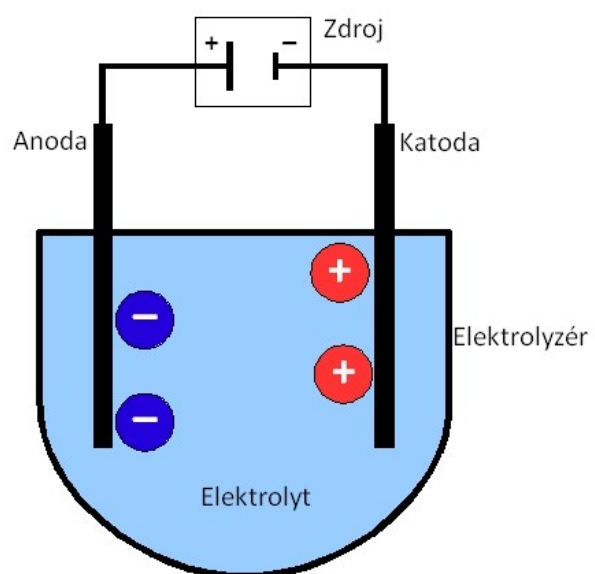
$F$  – Faradayova konstanta:  $F = 9,6485 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

$z$  – Počet elektronů

$M_m$  – Molární hmotnost

V galvanotechnice se pro elektrické množství používá jednotka ampér hodina [Ah]. Při galvanickém pokovování vzniká na elektrodách vedlejší reakce. Tyto reakce způsobují, že dané množství elektrického proudu není spotřebováno na vylučování a rozpouštění kovu. Pro tuto skutečnost byl definován proudový výtěžek.[8]

#### 1.4. Schématický obrázek elektrolýzy



Obr. 1 - Průběh elektrolýzy [12]

## **2. Specifikace galvanických procesů, typologie a charakteristika lázní, jejich složek a přísad v návaznosti na výsledné mechanické vlastnosti povlaků**

### **2.1.1. Požadavky na vylučování povlaků**

Požadavky kladené na vylučování povlaku Ni jsou dány normou ČSN EN 1403. Tato norma stanoví metodu specifikace všeobecných požadavků pro elektrolyticky vyloučené povlaky použité na kovových materiálech pro ochranu proti korozi. [1]

- Pórovitost
- Vzhled
- Adheze
- Tloušťka
- Korozivzdornost
- Mechanické vlastnosti
- Vnitřní napětí
- Ekologické dopady
- Produktivita procesu
- Ekonomičnost

### **2.1.2. Pórovitost**

Pórovitost je definována jako stupeň nepokrytých, převážně mikroskopických oblastí na podkladovém materiálu. Množství nežádoucích dutin v povlaku. Póry rozlišujeme na Makroskopické (větší než 100 $\mu$ m), mikroskopické do 100 $\mu$ m a submikroskopické do 0,1 $\mu$ ). Póry vznikají v průběhu procesu povlakového systému. Výskyt pórů je funkcí celé řady různých vlivů. [1]

### **2.1.3. Celkový vzhled povlaku**

Celkový vzhled povrchu je určen optickými vlastnostmi, které jsou významné z hlediska uplatnění povrchové úpravy. To jsou zejména vizuální stejnorodost (homogenita). Optická izotropie povrchu. Celkový vzhled představuje základní a mnohdy i rozhodující kontrolovaný faktor. Především u spotřebního zboží, kde se podílí na celkové estetické hodnotě výrobku. [1]

### **2.1.4. Adheze**

Je to schopnost materiálu spolu přilnout. Důležitým faktorem pro správnou adhezi je dodržení technologického postupu tj. důkladné odmaštění povrchu a mikro geometrie. Vnitřní napětí ovlivňuje přilnavost. Adheze označuje přilnavost různých materiálů. Jejich soudržnost se nazývá koheze. [1]

### **2.1.5. Tloušťka povlaku**

Tloušťka povlaku je jedním ze základních ukazatelů očekávané účinnosti ochrany proti korozi vnějšího prostředí a současně dodržení předpokládaných funkčních vlastností. Tloušťka povlaku definujeme jako vzdálenost mezi povrchem povlaku a jeho základním materiálem. Je určována jako: místní – změřená v určitém místě povrchu nebo průměrná – zjištění na větší ploše povrchu. [1]



Druhy měření tloušťky jsou členěny na destruktivní a nedestruktivní.

#### **Destruktivní:**

- chemické
- elektrochemické
- mechanické

#### **Nedestruktivní**

- magnetické
- elektromagnetické
- vířivých proudů
- izotopová
- termoelektrická
- optická

#### **2.1.6. Korozivzdornost**

U niklových povlaků síra značně zvyšuje rychlost koroze v pasivním i aktivním stavu. Důvodů může být více. Například stav povrchu nebo jeho struktura. [1]

#### **2.1.7. Charakteristika galvanických lázní a povlaků:**

##### **Galvanické lázně dělíme**

- a) Kyselé (obsah  $\text{pH} < 7$ )
- b) Zásadité (obsah  $\text{pH} > 7$ )

Podle druhu nosných aniontů v lázních označujeme lázně síranové, chloridové, kyanidové, pyrofosforečnanové, polychromanované. Podle vzhledu vyloučených povlaků rozdělujeme lázně na matné, pololesklé a lesklé pracující. [2]

### **Hlavní složky lázně**

- Soli obsahující vylučovaný kov.
- Látky působící na rozpustnost anod.
- Látky, které zvyšují vodivost lázně.
- Látky, které zvyšují kvalitu povlaku, např. leskutvorné přísady.
- Látky vznikající rozkladem původních sloučenin.
- Různé nečistoty, které poškozují lázeň.

## **2.2. Druhy lázní pro galvanické vylučování Niklu.**

Lázně pro galvanické vylučování by měly být co nejstálější. Nesmí nastat samovolný únik účinných složek lázní. Lázně pro Niklování můžou být:

- Chloridové lázně – Hlavní složkou je chlorid nikelnatý  $\text{NiCl}_2$ . Lázně mají vysokou vodivost a mají menší spotřebu elektrického proudu pro Faradayovy děje což je ekonomicky výhodné. Lázně vylučují matné povlaky s přijatelným vnitřním pnutím. Teplota lázní se pohybuje v rozmezí od 50 – 60°C.
- 
- Síranové lázně – Tyto lázně jsou velmi jednoduché na údržbu a ekonomicky výhodné. Vylučovaný povlak je matný a má přijatelným vnitřní pnutí. Teplota pracovní lázně se pohybuje okolo teploty 50 – 60°C. Hlavní složkou pracovní lázně je síran nikelnatý  $\text{NiSO}_4$  s přísadou chloridu nikelnatého  $\text{NiCl}_2$ .
- Síran hořečnaté lázně – Hlavní složkou je Síran hořečnatý  $\text{MgSO}_4$  a síran nikelnatý  $\text{NiSO}_4$ . Tyto lázně se v dnešní době již moc nepoužívají, jsou zastaralé. Kvalita těchto povlaků není vysoká.
- Fluor-boritanové a sulfamátové lázně. Hlavní nevýhodou této lázně jsou vysoké náklady na chemikálie, které jsou citlivé na znečištění. Nutnost použití filtrace. Tyto lázně jsou značně korozivní. [2]

Na obrázku můžeme vidět galvanovnu, kde jsou vidět jednotlivé lázně, do kterých se postupně ponoří součást. Tyto linky jsou v dnešní době plně automatizované.



Obr. 2 – Galvanovna [13]

### 3. Technologický postup aplikace voleného povlaku, příprava experimentální činnosti, metodika

#### 3.1. Technologické postupy galvanického pokovení

Parametry procesu galvanického vylučování kovových povlaků tvoří soubor tepelně-technických, elektrických a technologických veličin a podmínek, které mají společně vliv na kvalitu a jakost povlaku. Rozsah a míra významnosti jednotlivých podmínek je závislá na typu procesu a na kritických parametrech požadované výsledné jakosti. Veličiny je nutné v průběhu procesu sledovat, měřit a řídit.

#### 3.1. Soubor provozně významných parametrů při galvanickém pokovení

<i>Pracovní podmínky</i>	- tepelně technické	- teplota
		- hladina
		- účinnost míchání
	- elektrické	- proud
		- napětí
		- proudová hustota
		- polarita
<i>Technologické podmínky</i>	-složení lázně	- vylučovací rychlost
		- proudový výtěžek
		- hloubkovou účinnost
		- vyrovnávací schopnost

Základem kvalitní funkce provozních lázní v galvanotechnice je současné dodržení jak pracovních, tak i technologických podmínek.

### 3.2. Vzorový technologický postup při galvanickém pokovení

Galvanické pokovování je z technologií povrchových úprav nejnáročnější na předúpravu zboží. Je to zapříčiněné z důvodu přestupu kovového iontu z roztoku na povrch katody a jeho začlenění do krystalové mřížky vyžaduje totiž dokonalý styk fází. Volba technologického postupu závisí na druhu zboží, druhu lázně, technice pokovení, stavu povrchu zboží a technickém vybavení galvanovny.

#### **Předběžné operace**

##### *Odstranění hrubých nečistot:*

- odmaštění v organických rozpouštědlech - je vhodné pro silně zamaštěné zboží bez mechanického znečištění případně pro izolované nebo zestárlé vrstvy mazadel.
- chemické odmaštění - v alkalických vodných přípravcích ponorem nebo postřikem.
- moření - pro zrezivělé nebo zaokujené zboží v kyselině chlorovodíkové 1:1, pro zvýšení účinku dalšími přípravky.

##### *Dočištění pokovovaných součástí:*

- elektrolytické nebo ultrazvukové odmaštění - pouze ponorem v alkalických vodných přípravcích.
- aktivace (dekapování) - pro odstranění pasivních vrstev po odmaštění a jako mezioperační mezi následujícími procesy např. lesklé niklování a chromování. Provádí se zpravidla v kyselině chlorovodíkové.

##### *Vlastní pokovení*

- pokovení
- pasivace - chromátování zinkových a kadmiových povlaků, pasivace po cínování, stříbření, mosazení.

##### *Následné operace*

- oplach
- sušení
- konzervace – je-li požadována

Mezi jednotlivé operace se zařazují podle potřeby jedno nebo vícestupňové oplachy. Za pokovovací vanu je vhodné zařadit neprůtočný tzv. ekonomický oplach, z kterého lze především u procesů, jež probíhají za vyšších teplot, doplňovat odpařenou vodu a současně omezit výnos solí. Oplachy je možno podobně jako odmašťování provádět ponorem nebo postřikem. Kromě vhodného výběru operací má na kvalitu povlaků významný vliv pohyb zboží nebo lázně. K identifikaci nedostatečného pohybu slouží výskyt závojů na rovných plochách zboží případně zhoršení parametrů povlaků. Velmi důležitý je taky způsob zavěšení pokovovaných předmětů v elektrolytu. Dílce se pokovují při malých sériích a různém sortimentu ve vanách na závěsech s ruční obsluhou, malé dílce (např. spojovací materiál) se pokovují hromadně v bubnech či zvonech. [4]

## 4. Experimentální část

### 4.1.1. Charakteristika a použití ph-metru

pH metr slouží k měření kyselosti v roztoku na základě potenciometrického měření. Měřicí elektroda je tvořena skleněnou a referenční částí, která spojená s ph-metrem, kde vidíme naměřené hodnoty.

Pro naše měření jsme používali 3 roztoky odlišných obsahů kyseliny borité a naším cílem bylo dosáhnout u všech roztoků stejného pH, které jsme si stanovili okolo 3,7. Tuto hodnotu jsme regulovali (snižovali) pomocí kyseliny amidosulfonové ( $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ ).

Při měření ph jsme postupovali následovně. Před hlavním měřením jsme museli přístroj kalibrovat. Skleněnou elektrodu upevníme do držáku. Dále propojíme elektrodu s pH metrem. (konektor elektrody přiložíme ke konektoru pH metru a za mírného tlaku jím otáčíme po směru hodinových ručiček, až do sebe konektory "zapadnou" – je poznat hmatem a může být slyšet slabé cvaknutí). Membránu elektrody musíme opláchnout destilovanou vodou a následně osušíme tampónem. Elektrodu položíme do prvního standartu ( $\text{pH} = 7$ ), tak aby membrána byla ponořená. Přístroj spustíme tlačítkem ON, počkáme než se hodnota na pH metru ustálí. pH-metr by měl ukazovat hodnotu 7.00. Pokud tomu tak není, docílíme toho pomocí tlačítka CALIBRATION. Přístroj tlačítkem OFF vypneme elektrodu vyjmeme z prvního standartu elektrodu opět opláchneme destilovanou vodou osušíme tampónem vložíme do dalšího standartu (podle očekávané oblasti pH pro nás případ je to kyselá oblast tudíž  $\text{pH}=4$ ). Přístroj opět zapneme. Pokud na displeji nebude hodnota standartu tj.  $\text{pH}=4$  spravíme údaj pomocí tlačítek SLOPE. Přístroj vypneme vytáhneme standart opláchneme destilovanou vodou. Kalibraci provádíme do doby, než bude přístroj ukazovat přesnou hodnotu standartu. Po kalibraci již můžeme měřit náš připravený elektrolyt. Při výměně elektrolytu důkladně umýváme elektrodu. Všechna měření by měla probíhat za konstantních teplot.



Obr. 3 - pH-metr [14]

#### 4.1.2. Charakteristika a použití IS-metru

IS-metr slouží k měření délkových změn při elektrolýzy. Dále pak pomocí vzorců počítáme napětí na zkušebních vzorcích. Přístroj můžeme rozdělit na 3 části. Na první horní části připojujeme čidlo, které je dále připojeno k indukčnímu snímači (Militron). Snímač nám ukazuje aktuální hodnoty délkových změn. Indukční snímač je ještě připojen k PC, který dle vlastního nastavení zaznamenává hodnoty přímo do programu EXCEL. Druhá střední část slouží k nastavení předpětí zkušebního vzorku. Na třetí spodní část se upíná zkušební vzorek. Celá tato část se pak ponoří do připraveného elektrolytu.

Pro měření jsme si zkušební vzorky (ocel) důkladně očistili a zastříhli na délku 175 mm. Tloušťka vzorku byla 0,05 mm, šířka pásku 10cm.

Na pomocný upínací přípravek vyrobený z plastu položíme IS-metr tak aby zapadl do drážek přípravku. Do střední drážky IS-metru vložíme náš zkušební vzorek, který důkladně utáhneme pomocí šroubů. Při manipulaci nesmí dojít k deformaci vzorku. Zbylé části IS-metru které budou ponořeny do elektrolytu zakryjeme plastovými přípravkami, aby nedošlo k pokovení IS-metru. Vzorek musíme předepjat. To docílíme pootočením matice

o jednu otáčku doprava. Potom na horní část připojíme indukční snímač, který by se měl dotýkat dotykových hrotů IS-metru. Po upevnění nastavíme indukční snímač (Militron), tak aby ukazoval 0. PC nám pak bude automaticky zapisovat změny hodnot při elektrolýze.





Obr. 4 - IS-metr

#### 4.2. Postup vylučování Ni

Ještě před pokovením musíme naše vzorky připravit. Ocelové pásky jsme vybírali tak, aby nebyli poznamenáni korozí nebo nebyli nijak deformováni. Vzorky jsme nejprve odmastili pomocí vaty a chloroformu. Vzorku jsme před upnutím do IS-metru zvážili na přesných vahách Mettler Toledo (Obr. 5). Po upnutí do IS-metru pásek ještě odmašťujeme pomocí čistícího prostředku STAR. Než zkušební vzorek spolu s IS-metrem vložíme do připraveného elektrolytu, musíme pásek nastavit tak, aby došlo k předpětí pásku. To docílíme pootočením stupnice IS-metru. Nezapomene připojit čidlo, které nám pomocí snímače bude ukazovat změny délky vzorku. Dále připojíme anody a při spuštění proudu stopujeme čas pokovení, protože začíná elektrolýza.

Teplota lázně musí být konstantní tj. 50° C. Dobu elektrolýzy jsme přizpůsobovali podle proudu, který jsme přiváděli. Pro proud 0,7A byl čas 25 min. Na PC jsme si nastavili při čase 25 min interval naměřených hodnot po 25s, abychom získali alespoň 60 údajů o naměřených hodnotách. Hodnoty ukazující (+) na Militronu 1202D jsou napětí tahové. Hodnoty (-) jsou tlakové.

Po ukončení elektrolýzy vyjmeme zkušební vzorek z IS-metru důkladně opláchneme destilovanou vodou, vysušíme a zvážíme. Popsaný vzorek po té uložíme do papíru.



Obr. 5 - Váhy Mettler Toledo

### 4.3. Měření napětí

#### 4.3.1. Elektrolyt bez přísad (pH=3,69)

Teplota lázně 50° C.

Vzorek č. 1

- Váha vzorku 0,878 g
- Váha po pokovování 1,187 g
- Proud 0,7 A
- Délka Elektrolýzy 25 min

Vzorek č. 2

- Váha vzorku 0,767 g
- Váha po pokovování 1,035 g
- Proud 1,75 A
- Délka Elektrolýzy 10 min

Vzorek č. 3

- Váha vzorku 0,878 g
- Váha po pokovování 0,934 g
- Proud 3,5 A
- Délka Elektrolýzy 5 min

**4.3.2. Elektrolyt s přísadou 20g/l kyseliny borité ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) (pH=3,56)**

Teplota lázně 50° C.

Vzorek č. 4

- Váha vzorku 0,886 g
- Váha po pokovování 1,1 g
- Proud 0,7 A
- Délka Elektrolýzy 25 min

Vzorek č. 5

- Váha vzorku 0,78 g
- Váha po pokovování 1,113 g
- Proud 1,75 A
- Délka Elektrolýzy 10 min

Vzorek č. 6

- Váha vzorku 0,783 g
- Váha po pokovování 1,108 g
- Proud 3,5 A
- Délka Elektrolýzy 5 min

#### 4.3.3. Elektrolyt s přísadou 40g/l kyseliny borité ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) (pH=3,11)

Teplota lázně 50° C.

Vzorek č. 7

- Váha vzorku 0,764 g
- Váha po pokovování 1,072 g
- Proud 0,7 A
- Délka Elektrolýzy 25 min

Vzorek č. 8

- Váha vzorku 0,878 g
- Váha po pokovování 1,181 g
- Proud 1,75 A
- Délka Elektrolýzy 10 min

Vzorek č. 9

- Váha vzorku 0,860gg
- Váha po pokovování 1,176 g
- Proud 3,5 A
- Délka Elektrolýzy 5 min

#### 4.4. Hmotností nárůst po pokovení

Výslednou hmotnost pokovení zjistíme ze vzorce.

$$m_c = m_2 - m_1 \text{ [g]}$$

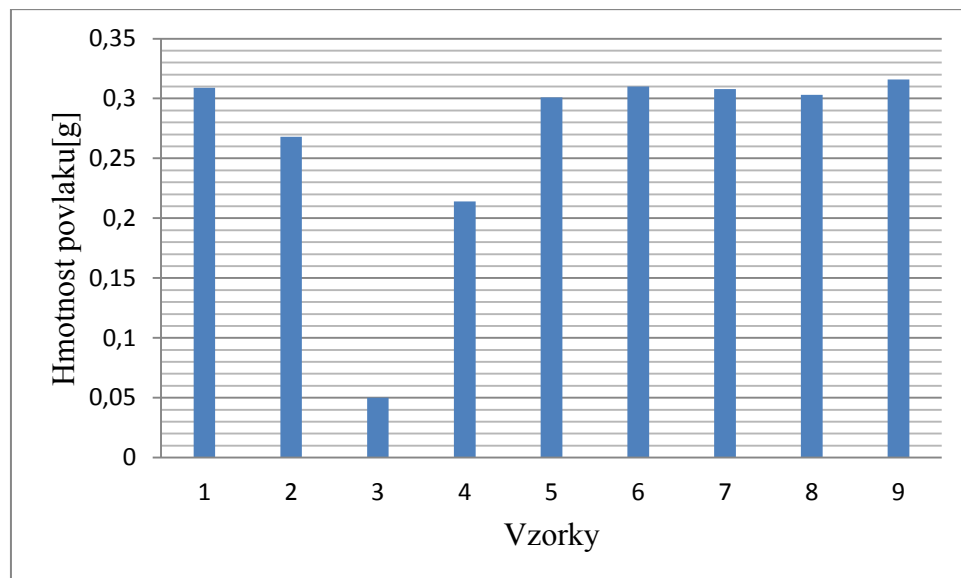
$m_1$  = hmotnost před elektrolýzou.

$m_2$  = hmotnost po elektrolýze.

$m_c$  = celková hmotnost povlaku.

Číslo vzorku	$m_1$ [g]	$m_2$ [g]	$m_c$ [g]
1.	0,878	1,187	0,309
2.	0,767	1,035	0,268
3.	0,884	0,934	0,05
4.	0,886	1,100	0,214
5.	0,780	1,081	0,301
6.	0,783	1,093	0,310
7.	0,764	1,072	0,308
8.	0,878	1,181	0,303
9.	0,860	1,176	0,316

Tabulka 1 - Hmotnosti povlaku u vzorku



**Graf 1 - Hmotnosti povlaku u vzorků**

## 4.5. Výpočty

### Výpočet napětí

$$\sigma = \frac{-E \cdot d \cdot \Delta l}{2 \cdot l \cdot t} [MPa] \quad (11)$$

### Příklad výpočtu:

$$\sigma = \frac{E \cdot d \cdot \Delta l}{2 \cdot l \cdot t} [MPa] = \sigma = \frac{-1,67 \cdot 10^5 \cdot 0,05 \cdot (-6)}{2 \cdot 170 \cdot 8} [MPa]$$

E – modul pružnosti ocelového pásku [Mpa].

d- tloušťka pásku [mm].

$\Delta l$  – zkrácení/prodloužení pásku [ $\mu m$ ]

l – délka pásku [mm].

t – tloušťka povlaku [ $\mu m$ ]

### Katodický proudový výtěžek

$$\eta = \frac{z \cdot F \cdot mk}{M \cdot I \cdot \tau k} = \frac{2 \cdot 1608 \cdot 0,309}{58,71 \cdot 0,7 \cdot 25} = 0,967 = 96,7\% \quad (11)$$

Molekulová hmotnost Ni, (Ni = 58,7 g/mol), Faradayova konstanta F = 96 500 C/mol = 1608 A.min/mol. Počet nábojů z: Ni = 2. mk hmotnost povlaku,  $\tau k$  doba vylučování.

### Výpočet hmotnosti povlaku

$$m = 2 \cdot \rho \cdot l \cdot s \cdot t [g] \quad (11)$$

### Příklad výpočtu:

$$m = 2 \cdot 8,9 \cdot 17 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 0,242 g$$

Tloušťka povlaku  $t = 8 \cdot 10^{-4} [cm]$ , šířka pásu 10mm, délka pásu 170mm, hustota niklu 8,9g[ $g/cm^2$ ].

### Čas, při kterém je tloušťka povlaku $8\mu m$

$$T = \frac{m \cdot l \cdot \tau k}{mk} [min] \quad (11)$$

Příklad výpočtu:

$$T = \frac{m \cdot l \cdot \tau k}{mk} = \frac{0,242 \cdot 25}{0,309} = 19,5min$$

Hmotnost povlaku o tloušťce  $t = 8 \cdot 10^{-4} [cm] = 2 \cdot \rho \cdot l \cdot s \cdot t [g]$ , Hmotnost získaného povlaku  $mk$ . Doba ukončení experimentu  $\tau k$ .

### Teoretická tloušťka povlaku

$$t_t = \frac{I \cdot M \cdot \tau}{2 \cdot F \cdot 2 \cdot l \cdot s \cdot \rho} \quad (11)$$

Příklad výpočtu:

$$t_t = \frac{I \cdot M \cdot \tau}{2 \cdot F \cdot 2 \cdot l \cdot s \cdot \rho} = \frac{0,7 \cdot 58,71 \cdot 1500}{2 \cdot 96500 \cdot 2 \cdot 170 \cdot 10 \cdot 0,0089} = 0,0105mm = 10,5\mu m$$



### **Skutečná tloušťka povlaku**

$$t = \eta \cdot t_t \quad (11)$$

**Příklad výpočtu:**

$$t = 0,967 \cdot 0,105 = 0,101\text{mm}$$

$t$  – tloušťka povlaku

$\eta$  – účinnost

$t_t$  – teoretická tloušťka

## 5. Vyhodnocení experimentu

### 5.1. Vizuální kontrola povlaku

Makroskopickou kontrolu jsme provedli pomocí digitálního fotoaparátu.



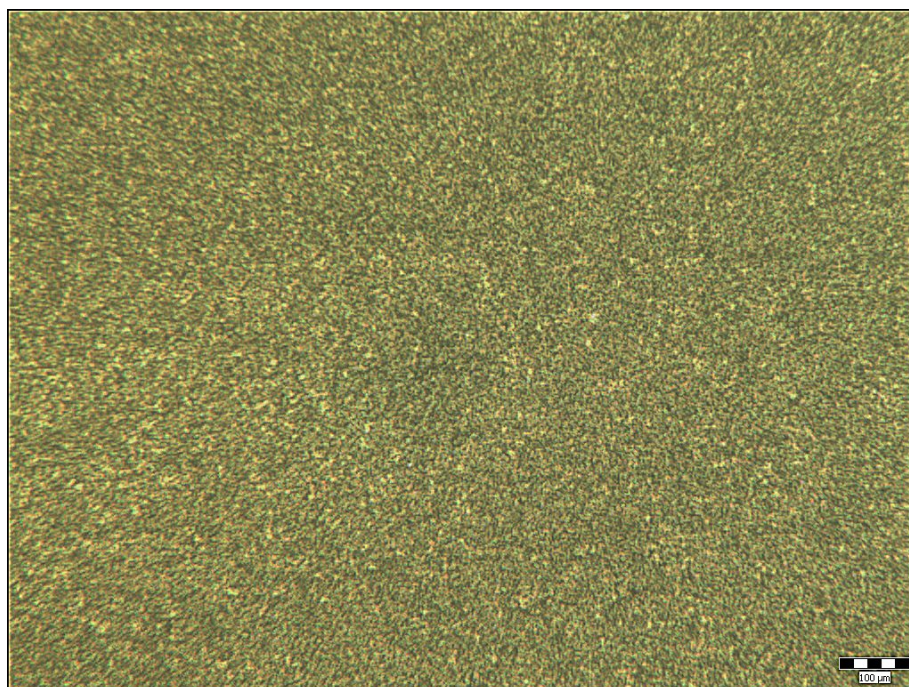
Obr. 6 - Vzorky pro vizuální kontrolu

Vyloučené povlaky byly vzhledu matného, v rámci nastavení procesních charakteristik docházelo k její destrukci. (U vzorku č. 1 a 2 se vyskytuje nerovnoměrně vyloučený povlak, to může být způsobeno nedůkladným očištěním před elektrolýzou. Tyto povlaky jsou nehomogenní).

U pásků, kde jsme nepoužili přísady kyseliny borité jsou při vyšších proudových hustotách povlaky velmi nekvalitní a černé. U vzorku č. 3 tj. bez přísad a s proudovou hustotou  $10\text{A/dm}^2$  ani nedošlo k vyloučení povlaku a zkušební pásek kompletně celý zčernal. Za těchto podmínek není možné pokovování.

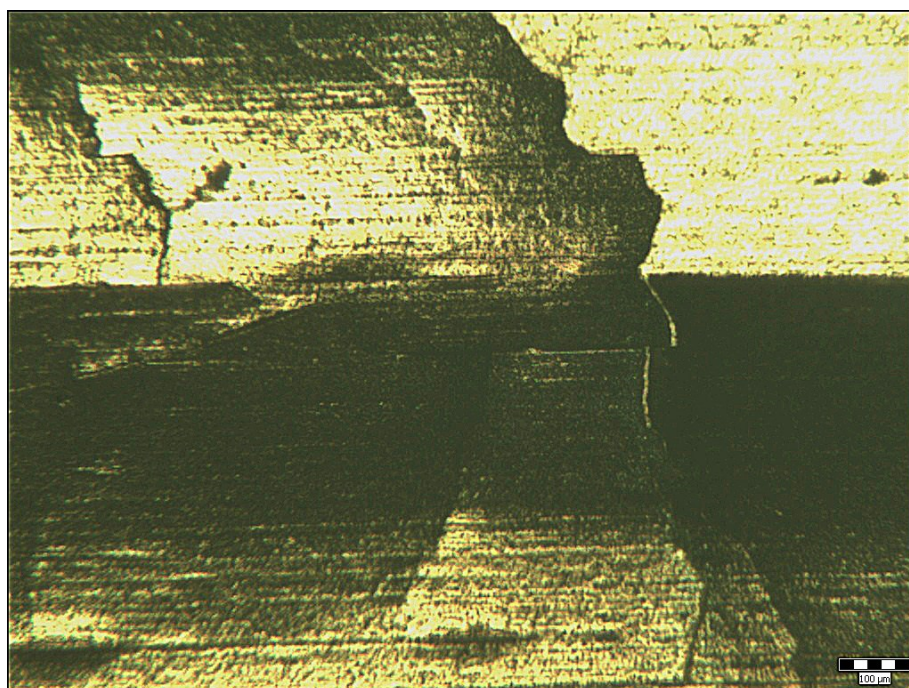
## 5.2. Mikroskopická dokumentace povrchu zvětšeno 50x.

Povlak je rovnoměrně vyloučen.



Obr. 7 – Vyloučený povrch bez přísad -  $2\text{A/dm}^2$

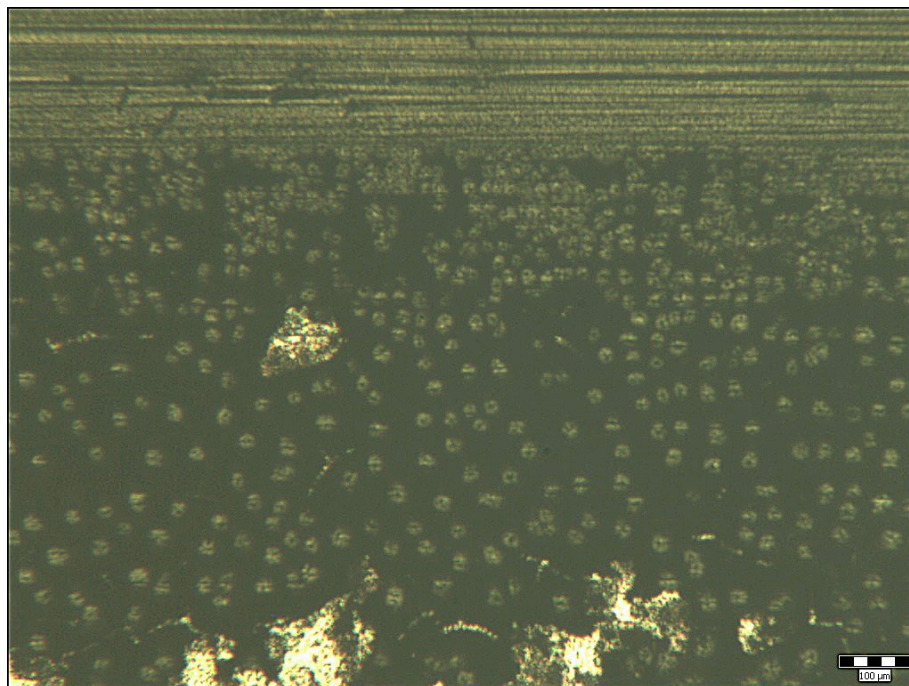
Povlak je popraskaný, nerovnoměrné vyloučení povlaku.



Obr. 8 – Vyloučený povrch bez přísad -  $5\text{A/dm}^2$ ,

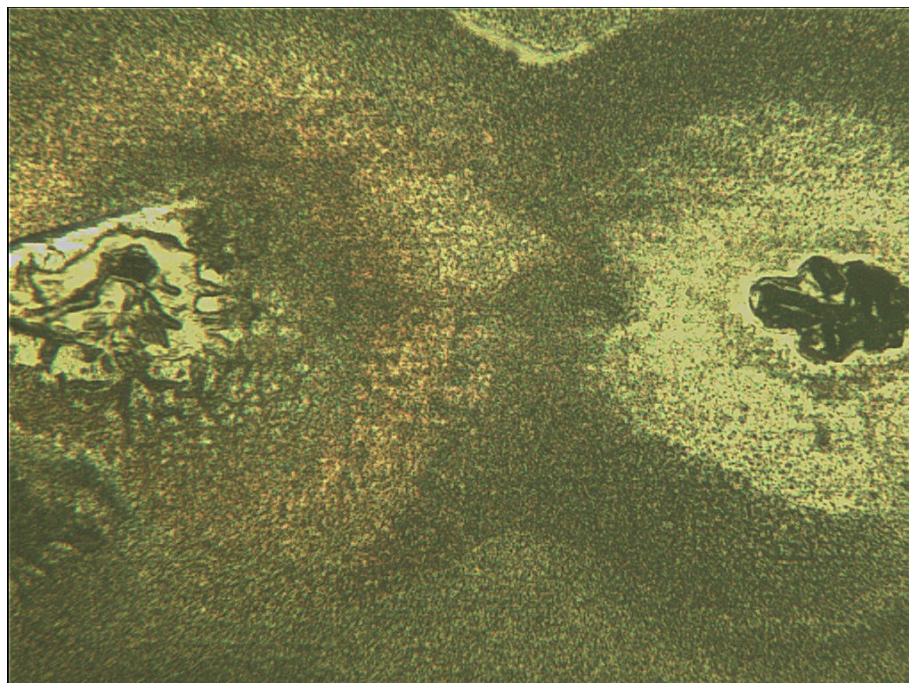


Povlak není vyloučený. Pórovitost povlaku. Povlak je nehomogéní.



Obr. 9 – Vyloučený povrch bez přísad - 10A/dm<sup>2</sup>,

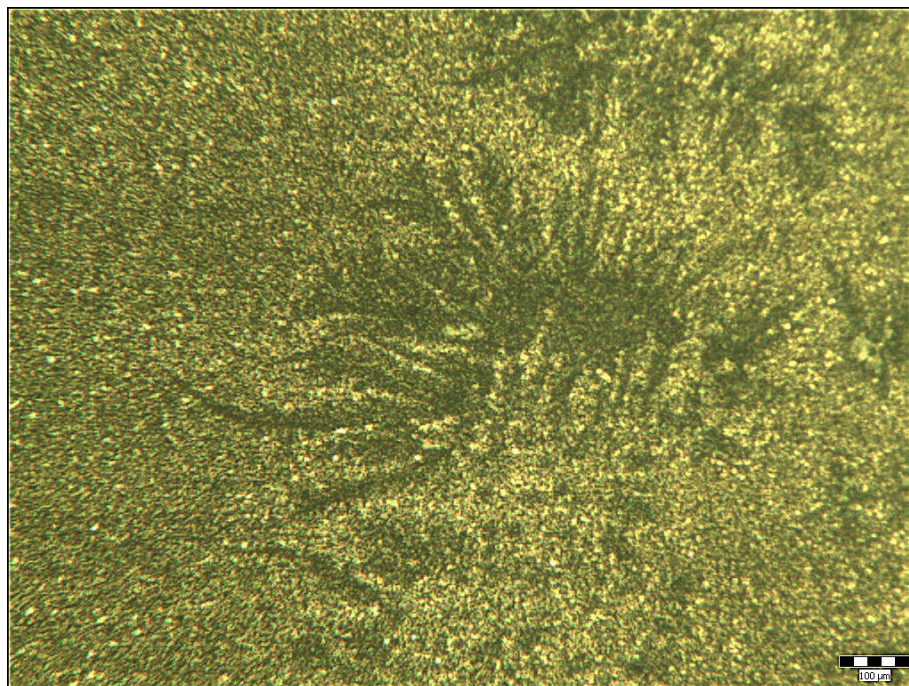
Povlak je vyloučen. Můžeme si všimnout kruhů, které jsou způsobeny špatnou předúpravou pásku.



Obr. 8– Vyloučený povrch s přísadou 20g/l H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> - 2A/dm<sup>2</sup>.

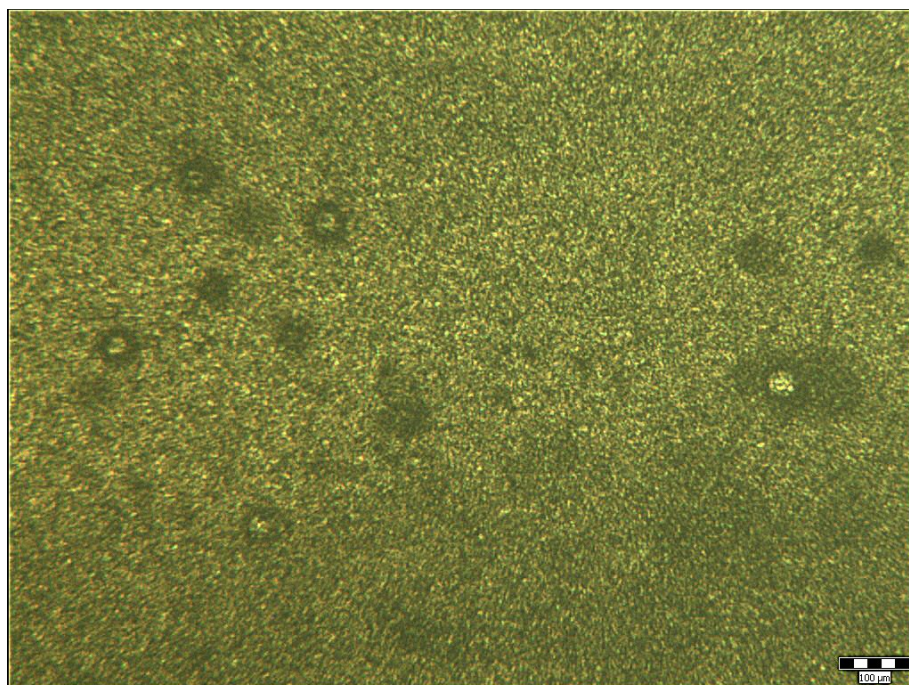


Povlak je rovnoměrně vyloučený.



**Obr. 9 Vyloučený povrch s přísadou 20g/l  $\text{H}_3\text{BO}_3$  - 5A/dm<sup>2</sup>.**

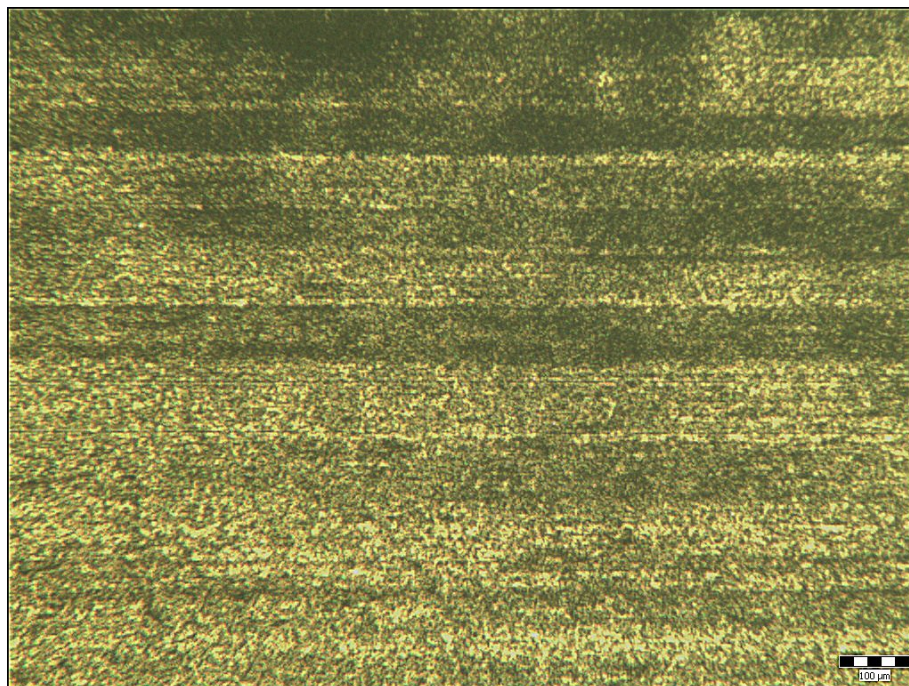
Povlak je rovnoměrně vyloučený. Malé kruhy můžou být způsobeny špatnou manipulací po ukončení elektrolýzy.



**Obr. 10 Vyloučený povrch s přísadou 20g/l  $\text{H}_3\text{BO}_3$  - 10A/dm<sup>2</sup>**

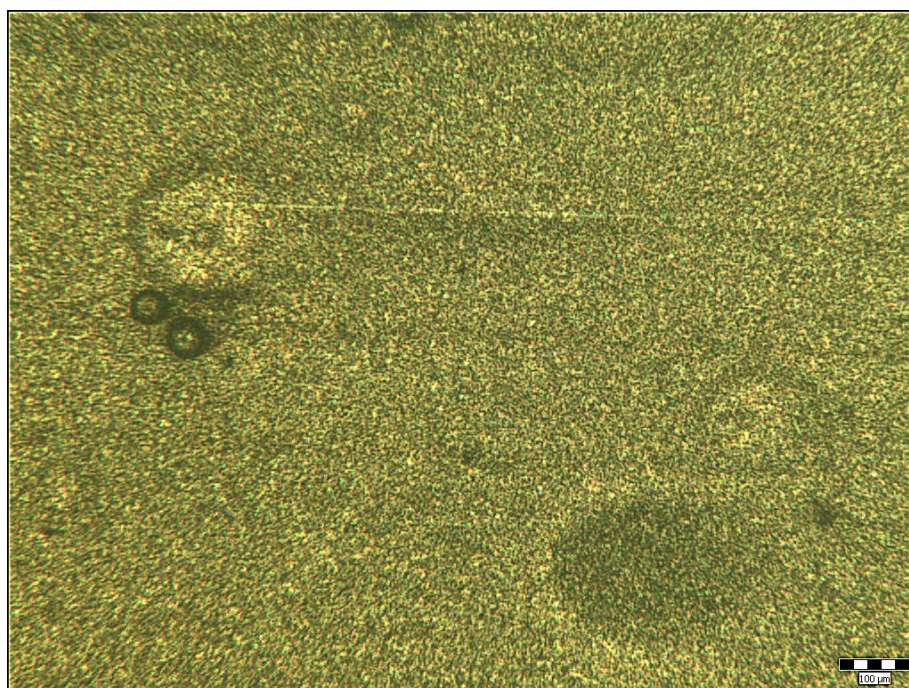


Povlak je rovnoměrně vyloučený.



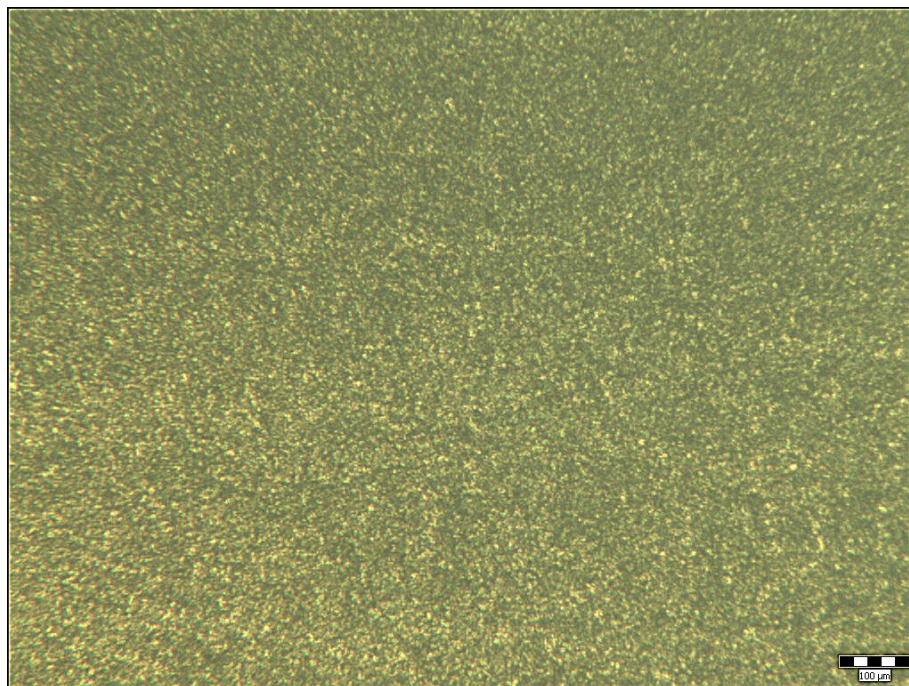
Obr. 11 - Vyloučený povrch s přísadou 40g/l  $\text{H}_3\text{BO}_3$  - 2A/dm<sup>2</sup>

Povlak je rovnoměrně vyloučený.



Obr. 12 - Vyloučený povrch s přísadou 40g/l  $\text{H}_3\text{BO}_3$  - 5A/dm<sup>2</sup>

Dokonale vyloučený povlak bez nežádoucích jevů. Povlak je homogení.



**Obr. 13 - Vyloučený povrch s přísadou 40g/l  $\text{H}_3\text{BO}_3$  - 10A/dm<sup>2</sup>**



### 5.3. Parametry vylučování, naměřené a vypočítané hodnoty

Elektrolyt bez přísad

Číslo vzorku	Parametry	Teoretická tloušťka	Naměřené hodnoty		Tloušťka povlaku	Vypočítané hodnoty		
1	[A/dm <sup>2</sup> ]	[mm]	t[min]	Δl[μm]	[mm]	σ [Mpa]	η	8μm [min]
	2	1,06	2,5	-4	1,02	12,28	96	19,5
		2,11	5	-9	2,03	27,63		
		3,17	7,5	-12	3,04	36,84		
		4,22	10	-15	4,05	46,05		
		5,28	12,5	-16	5,07	49,12		
		6,33	15	-17	6,08	52,19		
		7,39	17,5	-18	7,09	55,26		
		8,44	20	-19	8,10	58,33		
		9,50	22,5	-20	9,12	61,40		
10,56	25	-20	10,14	61,40				
Číslo vzorku	Parametry	Teoretický tloušťka	Naměřené hodnoty		Tloušťka povlaku	Vypočítané hodnoty		
2	[A/dm <sup>2</sup> ]	[mm]	t[min]	Δl[μm]	[mm]	σ [Mpa]	η	8μm [min]
	5	1,06	1	-1	0,88	3,07	83	9,02
		2,11	2	-4	1,75	12,28		
		3,17	3	-8	2,63	24,56		
		4,22	4	-12	3,50	36,84		
		5,28	5	-17	4,38	52,19		
		6,33	6	-20	5,25	61,40		
		7,39	7	-24	6,13	73,68		
		8,44	8	-34	7,01	104,38		
		9,50	9	-49	7,89	150,42		
10,56	10	-57	8,76	174,98				
Číslo vzorku	Parametry	Teoretický tloušťka	Naměřené hodnoty		Tloušťka povlaku	Vypočítané hodnoty		
3	[A/dm <sup>2</sup> ]	[mm]	t[min]	Δl[μm]	[mm]	σ [Mpa]	η	8μm [min]
	10	1,06	0,5	0	0,16	0	15	-
		2,11	1	0	0,32	0		
		3,17	1,5	0	0,48	0		
		4,22	2	0	0,63	0		
		5,28	2,5	0	0,79	0		
		6,33	3	0	0,95	0		
		7,39	3,5	0	1,11	0		
		8,44	4	1	1,27	3,07		
		9,50	4,5	1	1,43	3,07		
10,56	5	1	1,58	3,07				

Tabulka 2 - Elektrolyty bez přísad



Elektrolyt s přísadou 20 g/l kyseliny borité

Číslo vzorku	Parametry	Teoretický tloušťka	Naměřené hodnoty		Tloušťka povlaku	Vypočítané hodnoty		
4	[A/dm <sup>2</sup> ]	[mm]	t[min]	Δl[μm]	[mm]	σ [Mpa]	η	8μm [min]
	2	1,06	2,5	-2	0,71	6,14	67	28,27
		2,11	5	-3	1,41	9,21		
		3,17	7,5	-4	2,12	12,28		
		4,22	10	-5	2,83	15,35		
		5,28	12,5	-6	3,54	18,42		
		6,33	15	-7	4,24	21,49		
		7,39	17,5	-8	4,95	24,56		
		8,44	20	-9	5,65	27,63		
		9,50	22,5	-9	6,37	27,63		
10,56	25	-10	7,08	30,70				
Číslo vzorku	Parametry	Teoretický tloušťka	Naměřené hodnoty		Tloušťka povlaku	Vypočítané hodnoty		
5	[A/dm <sup>2</sup> ]	[mm]	t[min]	Δl[μm]	[mm]	σ [Mpa]	η	8μm [min]
	5	1,06	1	-8	1,00	24,56	94,2	8,03
		2,11	2	-14	1,99	42,98		
		3,17	3	-20	2,99	61,40		
		4,22	4	-25	3,98	76,75		
		5,28	5	-29	4,97	89,03		
		6,33	6	-33	5,96	101,31		
		7,39	7	-37	6,96	113,58		
		8,44	8	-40	7,95	122,79		
		9,50	9	-44	8,95	135,07		
10,56	10	-47	9,95	144,28				
Číslo vzorku	Parametry	Teoretický tloušťka	Naměřené hodnoty		Tloušťka povlaku a	Vypočítané hodnoty		
6	[A/dm <sup>2</sup> ]	[mm]	t[min]	Δl[μm]	[mm]	σ [Mpa]	η	8μm [min]
	10	1,06	0,5	-5	1,03	15,35	97	3,9
		2,11	1	-13	2,05	39,91		
		3,17	1,5	-19	3,07	58,33		
		4,22	2	-25	4,09	76,75		
		5,28	2,5	-29	5,12	89,03		
		6,33	3	-33	6,14	101,31		
		7,39	3,5	-37	7,17	113,58		
		8,44	4	-41	8,19	125,86		
		9,50	4,5	-44	9,22	135,07		
10,56	5	-47	10,24	144,28				

Tabulka 3 - Elektrolyt s přísadou 20 g/l kyseliny borité

Elektrolyt s přísadou 40 g/l kyseliny borité

Číslo vzorku	Parametry	Teoretický tloušťka	Naměřené hodnoty		Tloušťka povlaku	Vypočítané hodnoty		
7	[A/dm <sup>2</sup> ]	[mm]	t[ <sup>min</sup> ]	Δl[μm ]	[mm]	σ [Mpa]	η	8μm [min]
	2	1,06	2,5	-9	1,02	27,63	96,4	19,6
		2,11	5	-18	2,03	55,26		
		3,17	7,5	-25	3,06	76,75		
		4,22	10	-31	4,07	95,17		
		5,28	12,5	-37	5,09	113,58		
		6,33	15	-42	6,10	128,93		
		7,39	17,5	-46	7,12	141,21		
		8,44	20	-49	8,14	150,42		
		9,50	22,5	-52	9,16	159,63		
10,56	25	-55	10,18	168,84				
Číslo vzorku	Parametry	Teoretický tloušťka	Naměřené hodnoty		Tloušťka povlaku	Vypočítané hodnoty		
8	[A/dm <sup>2</sup> ]	[mm]	t[ <sup>min</sup> ]	Δl[μm ]	[mm]	σ [Mpa]	η	8μm [min]
	5	1,06	1	-6	1,00	18,42	94,8	7,9
		2,11	2	-11	2,00	33,77		
		3,17	3	-15	3,01	46,05		
		4,22	4	-19	4,00	58,33		
		5,28	5	-23	5,01	70,61		
		6,33	6	-26	6,00	79,82		
		7,39	7	-29	7,01	89,03		
		8,44	8	-32	8,00	98,24		
		9,50	9	-35	9,01	107,44		
10,56	10	-37	10,01	113,58				
Číslo vzorku	Parametry	Teoretický tloušťka	Naměřené hodnoty		Tloušťka povlaku	Vypočítané hodnoty		
9	[A/dm <sup>2</sup> ]	[mm]	t[ <sup>min</sup> ]	Δl[μm ]	[mm]	σ [Mpa]	η	8μm [min]
	10	1,06	0,5	-6	1,05	18,42	98,9	3,8
		2,11	1	-11	2,09	33,77		
		3,17	1,5	-15	3,14	46,05		
		4,22	2	-19	4,17	58,33		
		5,28	2,5	-22	5,22	67,54		
		6,33	3	-24	6,26	73,68		
		7,39	3,5	-27	7,31	82,89		
		8,44	4	-29	8,35	89,03		
		9,50	4,5	-31	9,40	95,17		
10,56	5	-33	10,44	101,31				

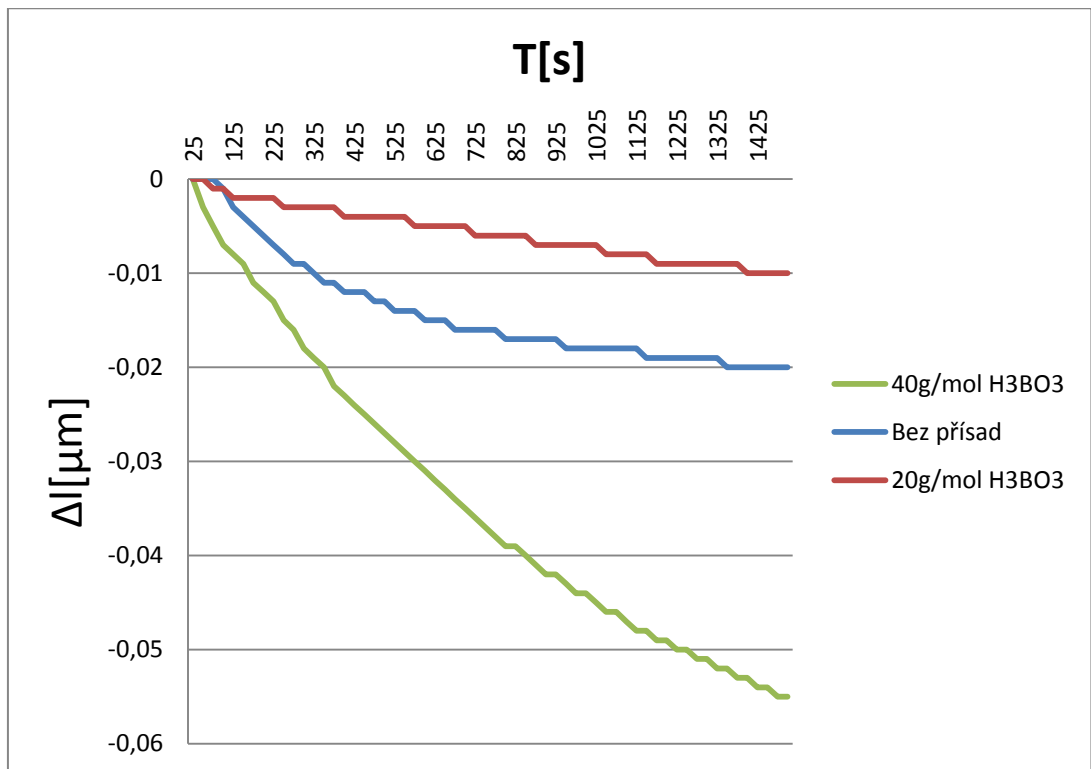
Tabulka 4 - Elektrolyt s přísadou 40 g/l kyseliny borité

## 6. Shrnutí a diskuze

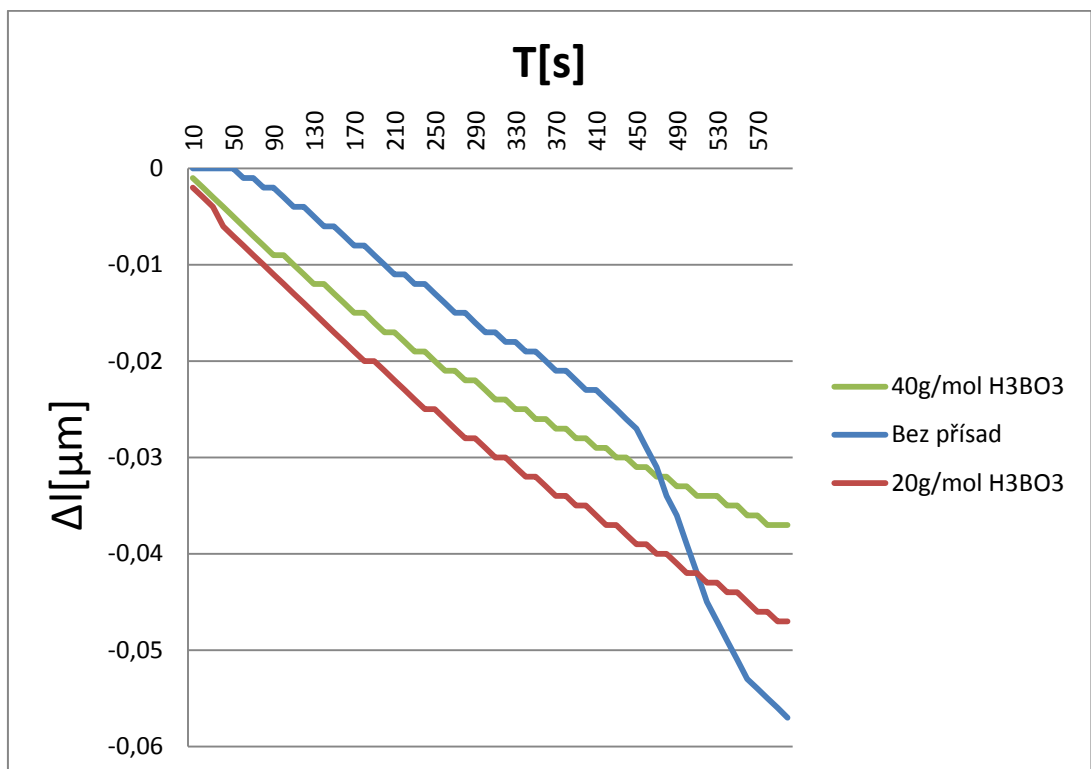
V praktické části jsme nejprve připravovali elektrolyt na galvanické povlakování. Opravovali pH elektrolytu pomocí ph-metru tak, aby bylo u všech vzorků elektrolytu zhruba stejné. Dále jsme na předem připravené pásky vylučovali pomocí IS - metru povlak. Hodnoty naměřené pro následné dilatace zkušebního pásku v závislosti na době pokovování, byly použity pro následující výpočty. Výsledky byly prezentovány v tabelární a grafické podobě.

### 6.1. Závislost prodloužení/zkrácení na čase

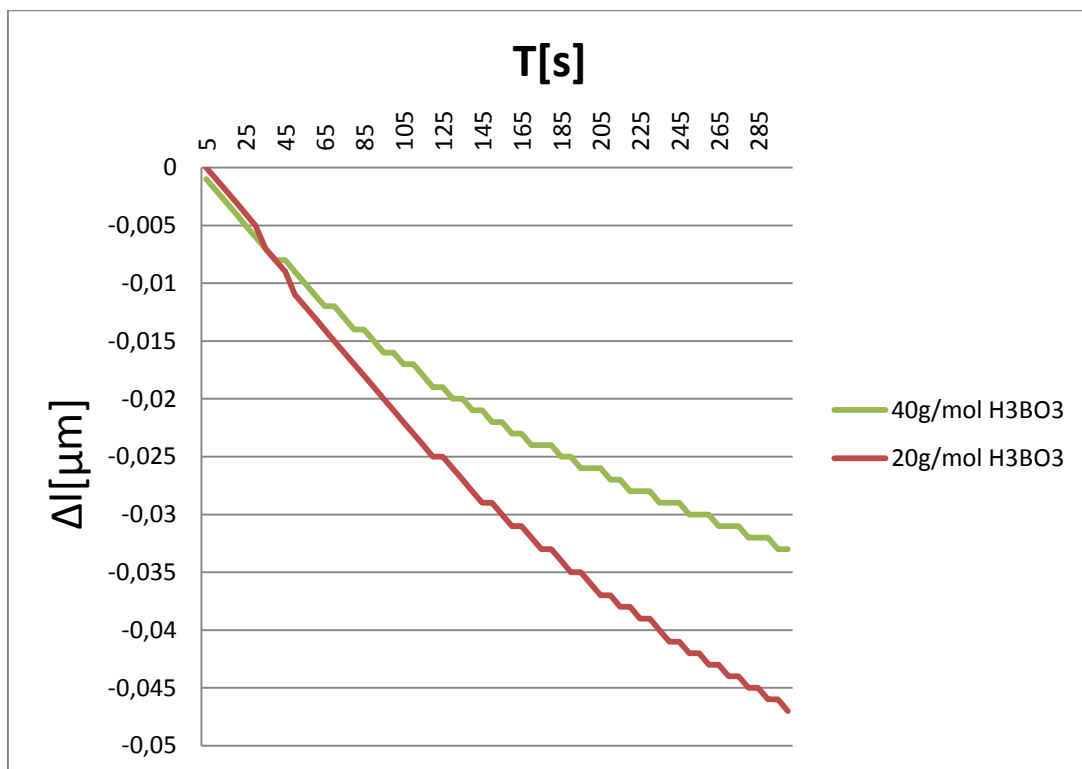
Závislost prodloužení/zkrácení zkušebního pásku na čase se v nejmenším rozsahu projevovala u vzorku č. 4 tj. elektrolyt s přísadou 20g/mol kyseliny borité při proudové hustotě  $2 \text{ A/dm}^2$ . V tomto případě došlo ke zkrácení vzorku pouze o  $10 \text{ }\mu\text{m}$ . A jeho vnitřní napětí bylo 30,7 MPa. Naopak největší zkrácení, tudíž i největší vnitřní napětí proběhlo u vzorku č. 2 tj. elektrolyt bez přísad kyseliny borité a to u proudové hustoty  $5 \text{ A/dm}^2$ . Zde je i neadekvátní vzhled. U vzorku č. 3 tj. bez přísad a proudová hustota  $10 \text{ A/dm}^2$  nemáme výsledky, protože nedocházelo k pokovení.



Graf 2 - Závislost zkrácení na čase. Proudová hustota 2 A/dm<sup>2</sup>



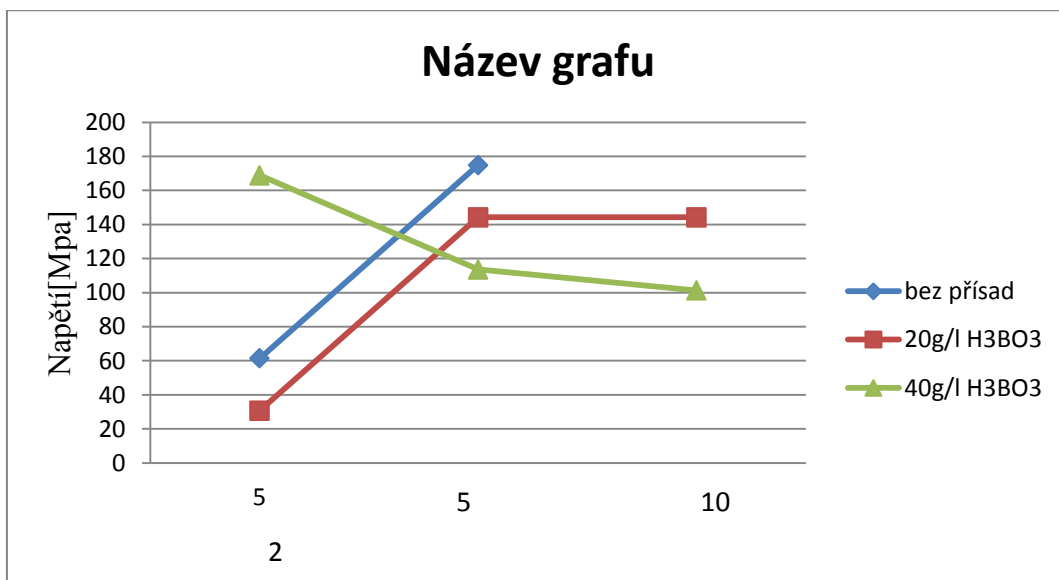
Graf 3 - Závislost zkrácení na čase. Proudová hustota 5 A/dm<sup>2</sup>



Graf 4 -Závislost zkrácení na čase. Proudová hustota 10 A/dm<sup>2</sup>

## 6.2. Závislost vnitřního napětí na obsah kyseliny borité $H_3BO_3$ a na proudové hustotě

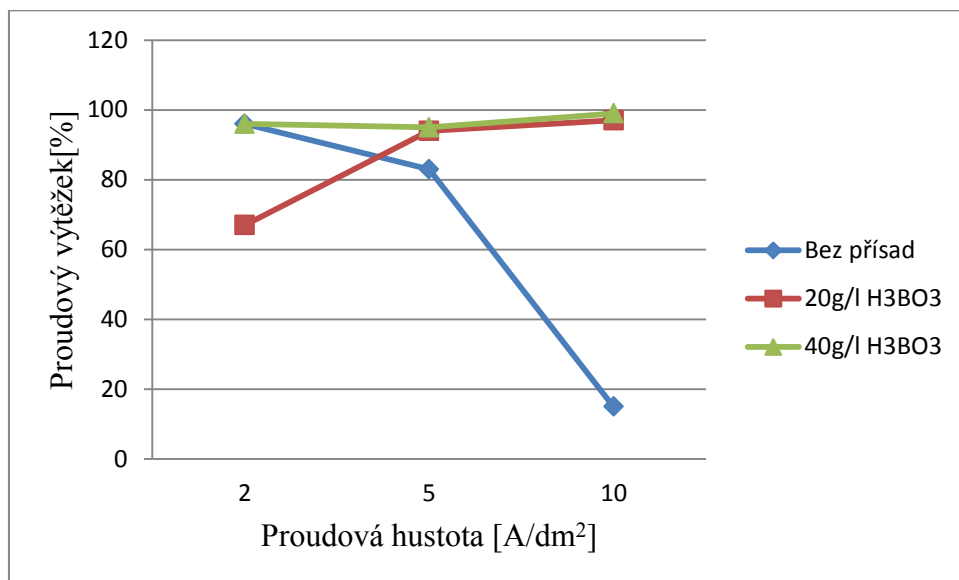
V grafu si můžeme všimnout, že u elektrolytu bez přísad se při zvyšování proudové hustotě zvyšuje i vnitřní napětí. Opačný jev se projevuje u elektrolytu s přísadou 40g/l kyseliny borité. U elektrolytu s obsahem 20g/l kyselin se napětí zvýší, ale následně se ustálí. Dá se předpokládat, že u elektrolytu s vysokým obsahem kyseliny borité se při zvyšování proudové hustoty bude snižovat vnitřní napětí.



Graf 5 -Závislost napětí na obsah kyseliny borité a na proudové hustotě

### 6.3. Závislost účinnosti na proudové hustotě

Na této závislosti vidíme další důkaz toho, že účinnost v elektrolytu bez kyseliny borité a vysoké proudové hustotě je velmi nízká.



Graf 6 –Závislost proudového výtěžku na proudové hustotě

## 7. Závěr

V experimentální části jsem zdokumentoval vliv přísady kyseliny borité  $\text{H}_3\text{BO}_3$  do sulfanátového elektrolytu. Sledovali jsme změny vlastností vylučovaných povlaků. Proměnnými parametry byla přísada kyseliny borité v poměru 20g/l a 40g/l, proudová hustota 2, 5 a 10 A/dm<sup>2</sup> poslední proměnou byl čas.

Po vyloučení všech povlaků se jeví dle experimentálního šetření přidání přísady kyseliny borité velmi vhodné, protože při vyšších proudových hustotách v elektrolytu bez přísad je po vizuální stránce naprosto neadekvátní dochází k odlupování povlaku ztrátě přilnavosti k materiálu. Vylučování povlaku bylo nerovnoměrné, tudíž byl povlak nehomogenní.

Při proudové hustotě 10 A/dm<sup>2</sup> nedošlo vůbec k vyloučení. Lázeň při této hustotě bublinkovala a vzorek po zkoušce byl kompletně černý viz. Vizuální kontrola

Jako nejvhodnější kombinací dle experimentálního šetření nám vyšel vzorek č. 4 tj. přísada 20g/l kyseliny borité a proudová hustota 2 A/dm<sup>2</sup>, kde vnitřní napětí dosahovalo nejnižších hodnot. Tento vzorek také vykazoval i rovnoměrné vyloučení a dobré mechanické vlastnosti. Za zmínku taky stojí, že čím vyšší obsah kyseliny borité a vyšší proudová hustota tím nižší je napětí

## Seznam obrázků:

Obr. 1 - Průběh elektrolýzy.....	14
Obr. 2 - Galvanovna.....	19
Obr. 3 - pH-metr .....	24
Obr. 4 - IS-metr.....	25
Obr. 5 - Váhy Mettler Toledo .....	26
Obr. 6 - Vzorky pro vizuální kontrolu .....	34
Obr. 7 – Vyloučený povrch bez přísad - $2\text{A/dm}^2$ , .....	35
Obr. 10– Vyloučený povrch s přísadou $20\text{g/l H}_3\text{BO}_3$ - $2\text{A/dm}^2$ .....	36
Obr. 11 Vyloučený povrch s přísadou $20\text{g/l H}_3\text{BO}_3$ - $5\text{A/dm}^2$ .....	37
Obr. 12 Vyloučený povrch s přísadou $20\text{g/l H}_3\text{BO}_3$ - $10\text{A/dm}^2$ .....	37
Obr. 13 - Vyloučený povrch s přísadou $40\text{g/l H}_3\text{BO}_3$ - $2\text{A/dm}^2$ .....	38
Obr. 14 - Vyloučený povrch s přísadou $40\text{g/l H}_3\text{BO}_3$ - $5\text{A/dm}^2$ .....	38
Obr. 15 - Vyloučený povrch s přísadou $40\text{g/l H}_3\text{BO}_3$ - $10\text{A/dm}^2$ .....	39



## Seznam tabulek:

Tabulka 1 - Hmotnosti povlaku u vzorku .....	29
Tabulka 2 - Elektrolyty bez přísad.....	40
Tabulka 3 - Elektrolyt s přísadou 20 g/l kyseliny borité.....	41
Tabulka 4 - Elektrolyt s přísadou 40 g/l kyseliny borité.....	42

## Seznam grafů

Graf 1 - Hmotnosti povlaku u vzorku .....	30
Graf 2 - Závislost zkrácení na čase. Proudová hustota 2 A/dm <sup>2</sup> .....	44
Graf 3 - Závislost zkrácení na čase. Proudová hustota 5 A/dm <sup>2</sup> .....	44
Graf 4 -Závislost zkrácení na čase. Proudová hustota 10 A/dm <sup>2</sup> .....	45
Graf 5 -Závislost napětí na obsah kyseliny borité a na proudové hustotě .....	46

## Seznam použité literatury

- [1] CYRUS, Z., CHOCHOLOUŠEK, J., KRISTOFORY, F., VÍTEK, J. *Kurz Galvanizérů 1: Učební texty a návody do cvičení*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996.
- [2] SZELAG, P., CYRUS, Z., PŘYKRYL, Z., VÍTEK, J., KRISTOFORY, F. *Kurz Galvanizérů 3: Učební texty a návody do cvičení*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1999.
- [3] PRŮŠEK, J. *Hodnocení jakosti a účinnosti protikorozních ochran strojírenských výrobků*. Praha: SNTL, 1985.
- [4] STRAUCH, A. *Galvanotechnisches fachwissen*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag Fur Grundstoffindustrie, 1987.
- [5] MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav a kovů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1995.
- [6] KLAPKA, V. *Chemické vylučování kovů: Sborník textů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1995.
- [7] KANIA, P. *Vlastnosti galvanických povlaků na bázi niklu a slitinových povlaků: Doktorská dizertační práce*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2002.
- [8] RUML, V., SOUKUP, M. *Galvanické pokovování*. vyd. Praha: SNTL 1981.
- [9] POVRCHÁŘI.[online].[2011].  
URL:[http://povrchari.cz/kestazeni/201106\\_povrchari.pdf](http://povrchari.cz/kestazeni/201106_povrchari.pdf)
- [10] *Koroze* [online]. 2013 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Koroze>
- [11] ČSN 03 8162. *Elektrolyticky vyloučené kovové povlaky: Metoda stanovení vnitřního napětí*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986.

- [12] Elektrolýza. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Elektrol%C3%BDza.jpeg>
- [13] Galvanovna: Obrázky. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.galvanovna.cz/images/foto/galo20.jpg>
- [14] Vpichovací teploměry. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.e-voltcraft.cz/vpichovaci-teplomery.c95>